

## 304 不锈钢 GTAW 背面保护焊剂性能研究\*

强 伟<sup>1</sup>, 李文卓<sup>1</sup>, 路永新<sup>1</sup>, 李 欢<sup>2</sup>,  
米广鑫<sup>1</sup>, 程 龙<sup>1</sup>

(1. 西安石油大学 材料科学与工程学院, 西安 710065;  
2. 克拉玛依金砖钢结构工程有限公司, 新疆 克拉玛依 834000)

**摘 要:** 为了研究单面焊接双面成形背面保护剂的保护效果, 采用光学显微镜、电子显微镜、能谱仪、显微硬度计对接头组织及性能进行表征和分析。结果表明, 采用 Solar TYPE B 型焊接保护剂可以获得成形良好的焊缝; 熔合线附近的焊缝组织为联生结晶的奥氏体柱状晶, 焊缝中心组织为细小均布的奥氏体枝晶, 平均枝晶间距为 8.9  $\mu\text{m}$ ; 焊缝背部表层有较低含量的 O 元素, 从而说明保护剂对焊缝背部的保护具有效果良好; 焊接接头热影响区的硬度较低, 而焊缝区硬度较高, 但总体硬度值波动不大。

**关键词:** 304 不锈钢; GTAW; 背面保护焊剂; 微观组织; 硬度分布

中图分类号: TG444

文献标识码: B

DOI: 10.19291/j.cnki.1001-3938.2023.04.007

### Back Protection Flux Performance of Gas Tungsten Arc Welding on 304 Stainless Steels

QIANG Wei<sup>1</sup>, LI Wenzhuo<sup>1</sup>, LU Yongxin<sup>1</sup>, LI Huan<sup>2</sup>, MI Guangxin<sup>1</sup>, CHENG Long<sup>1</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China;

2. Golden Brick Steel Structure Engineering Co., Ltd., Karamay 834000, Xinjiang, China)

**Abstract:** In order to study the protective effect of the back protective flux of the single sided welding and double sided forming, the microstructure and properties of the joint were characterized and analyzed by optical microscopy, electron microscopy, energy dispersive spectroscopy, and micro-hardness tester. The results show that a well formed weld can be obtained by using Solar TYPE B welding flux. The microstructure of the weld near the fusion line is austenite columnar crystals with associated crystallization, and the microstructure of the weld center is finely and uniformly distributed austenite dendrites, with an average dendrite spacing of 8.9  $\mu\text{m}$ . The surface layer at the back of the weld contains low content of O element, which verifies the good effect of the protective flux. The hardness of the heat affected zone of the welded joint is low, while the hardness of the weld zone is high, but the overall fluctuation is gradual.

**Key words:** 304 stainless steels; gas tungsten arc welding; back protection flux; microstructure; hardness distribution

## 0 前 言

不锈钢因良好的耐腐蚀性能在压力容器、油气化工、工程机械、船舶等领域广泛应用, 制造

焊接结构时需预防高温氧化以免影响其耐腐蚀性<sup>[1-3]</sup>。对于焊枪无法到达焊缝背面的应用场景(如小内径管道环缝焊接), 通常只能选用单面焊接双面成形工艺<sup>[4]</sup>。为避免焊接过程中焊缝背部

\*基金项目: 陕西省教育厅科研计划项目“耦合双 GTA 增材制造熔池流动行为与成形缺陷控制”(项目编号 21JK0833); 大学生创新创业训练计划“倾斜薄壁结构列置耦合双 GTA 增材熔池流动与成形控制”(项目编号 X202110705014)。

氧化, 相关研究人员和技术人员进行了大量尝试, 目前比较成熟的方案是封闭局部空间同时充氩, 使焊缝背部在氩气氛围中冷却凝固。小直径管道环焊缝焊接时, 需要在管道内部以保护塞隔出气室, 用氩气充满气室达到焊缝背面保护的效果<sup>[5]</sup>。闫兴贵等<sup>[6]</sup>在研究不锈钢平板非熔化极惰性气体保护焊 (GTAW) 时通过设计充氩装置实现了焊缝背面保护。然而, 局部密闭充氩的方法需额外增加装置, 施工难度增加, 导致焊接效率降低, 且焊接过程需要消耗大量氩气。另一种可行的方法是焊接时在工件背面加装 Cu 或陶瓷材料衬垫以避免背部氧化, 但容易带来渗铜、夹渣等问题。采用焊接保护剂是国外的一种新方法, 国内也开展了相关研究。李辉<sup>[7-8]</sup>比较了不同种类的背面保护剂对不锈钢 GTAW 焊接接头的影响; 郑祥超、尹燕、樊鸿杰等<sup>[9-12]</sup>采用自制背面保护剂完成了薄壁 304 不锈钢管的焊接; 李亚军、丁超等<sup>[13-15]</sup>研究了美国金帝国公司 Solar TYPE B 型保护剂在管道焊接方面的应用效果。

为了进一步揭示 Solar TYPE B 型保护剂的作用机理, 为不锈钢单面焊接双面成形提供可行高效的背面保护方法, 本研究利用光学

显微镜 (OM)、电子显微镜 (SEM)、能谱仪 (EDS)、显微硬度计等设备系统分析了 Solar TYPE B 型保护剂作用下 304 不锈钢焊接接头的组织性能及保护效果。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

选用规格为 100 mm×200 mm×3 mm 的 304 奥氏体不锈钢板材为试验材料, 化学成分见表 1。

表 1 试验用 304 奥氏体不锈钢板化学成分 %

$w(\text{C})$	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Ni})$	$w(\text{S})$	$w(\text{P})$	$w(\text{Fe})$
≤0.08	≤2.00	≤1.00	18.0	8.0	≤0.030	≤0.045	余量

### 1.2 试验方法

采用电子天平称量一定量的 Solar TYPE B 型保护剂粉末 (主要组分为氧化物), 加入适量丙酮后充分搅拌为糊状。将保护剂混合物均匀涂覆于不锈钢平板一侧, 以接缝为中心, 两侧涂覆宽度各 8 mm, 涂覆层厚度为 1 mm。

采用 GTAW 方法在 304 不锈钢未涂覆保护剂的一侧开展自熔焊接试验, 焊接工艺参数见表 2。试验原理如图 1 所示。

表 2 焊接工艺参数

焊接电流/A	焊接速度/(cm·min <sup>-1</sup> )	电弧长度/mm	平均弧压/V	钨极直径/mm	气体流量/(L·min <sup>-1</sup> )
115	20	3	12	2.4	1.5

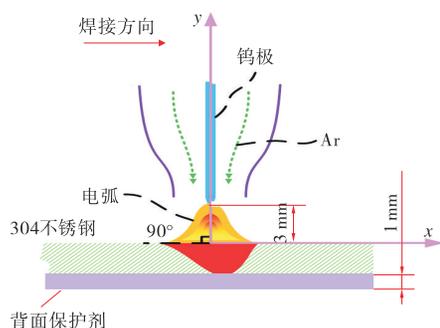


图 1 涂覆保护剂的 GTAW 试验原理

垂直于焊缝切取金相试样, 用王水溶液腐蚀后, 通过 Axio Vert.A1 光学显微镜观测焊接接头微观组织, 利用 JSM-6390A 扫描电子显微镜和能谱仪定量分析元素含量, 采用 HXD-1000TMC 硬度试验计检测焊接接头硬度分布。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 焊缝外观

图 2 所示为采用 Solar TYPE B 型保护剂焊接获得的焊缝正面、背面外观形貌。由图 2 (a) 可见, 焊缝正面成形良好, 尺寸一致性好, 表面光洁度高, 无明显表面缺陷, 但母材表面呈灰色, 存在一定程度的高温氧化; 由图 2 (b) 可见, 焊缝背面表层覆盖一层焊渣类似物, 这是丙酮和保护剂的混合物高温加热后形成的产物。去除部分熔渣后露出银白色的不锈钢表面, 表明保护剂对焊缝背部具有良好的保护效果。

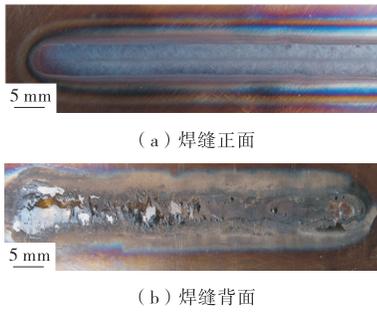


图2 采用Solar TYPE B型保护剂焊缝外观形貌

### 2.2 微观组织

图3为采用Solar TYPE B型保护剂各区域微观组织,由图3(a)、图3(c)可知,母材组织为奥氏体 $\gamma$ 等轴晶,焊缝区主要由尺寸较小的奥氏体枝晶组成,枝晶间距平均为 $8.9\ \mu\text{m}$ ;由图3(b)可知,熔合线的焊缝一侧晶粒以热影响区半熔化晶粒为核心,垂直于熔合线向焊缝中心方向生长,组织形态为联生结晶形成的柱状奥氏体晶粒。

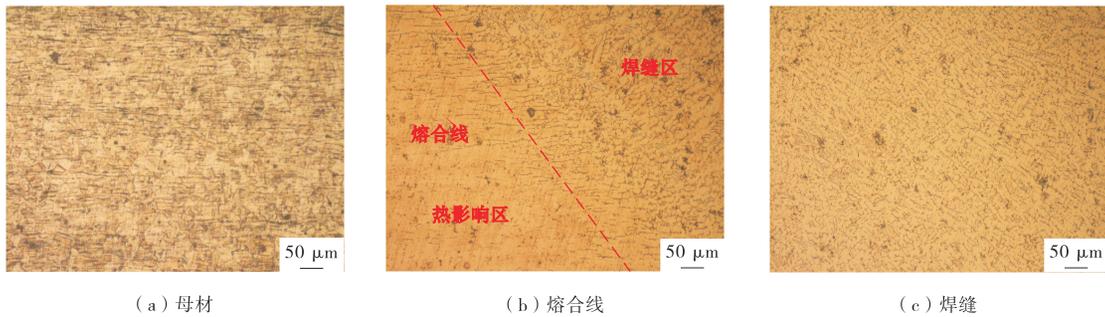
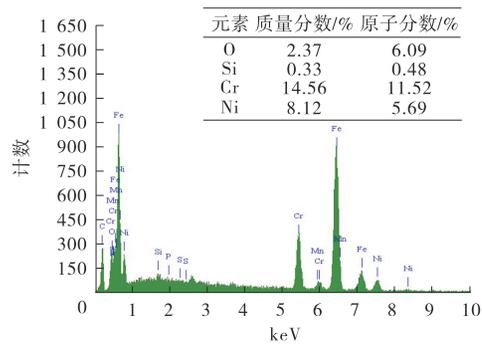
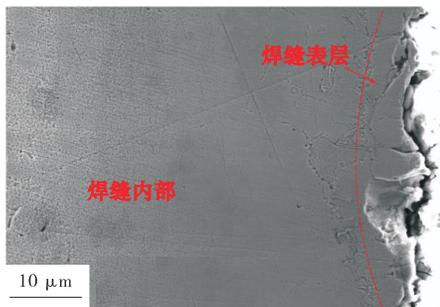


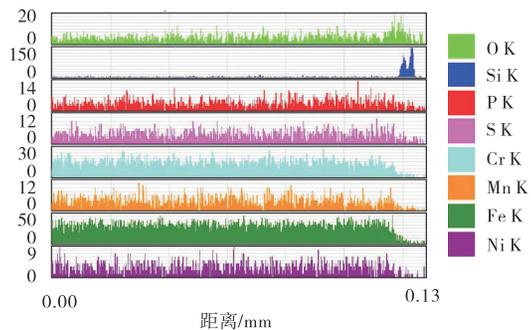
图3 不锈钢焊接接头组织形貌

对焊接接头进行SEM和EDS测试分析,结果如图4所示。对涂覆保护剂的焊缝背面表层进行EDS点扫描,结果显示焊缝表面仍存在一定氧化,

氧化层厚度最大 $12.6\ \mu\text{m}$ ,但氧含量较低。从焊缝内部向背面表层做EDS线扫描(图4(b)),可以看到焊缝表层部位的氧含量同样略有增高。



(a) 点扫描



(b) 线扫描

图4 采用Solar TYPE B型保护剂焊接接头SEM和EDS分析结果

为定量评估保护剂效果,在焊缝背面表层取样测定含氧量,结果显示接头背面表层氧含量为

0.001 2%。在保护剂作用下,接头背面表层金属的含氧量极低,说明保护剂发挥了良好效果。

### 2.3 显微硬度

图5为焊接接头的硬度分布。从图5可见,焊缝区的硬度整体较高,而热影响区存在一定程度的软化,最低硬度为 $303\text{HV}_{10}$ 。焊接过程中,热影响区的金属虽未熔化,但与熔合线距离最近,受到焊接热量的影响极大,因此晶粒粗化明显。根据Hall-Petch关系,晶粒越粗大,材料性能越差,因此热影响区的硬度下降比较严重。从图3(c)可知,焊缝区晶粒相对细小,且分布均匀,由于细晶强化的作用,硬度较高。总体来看,焊接接头的硬度与母材相比,波动较小,说明焊接对材料的力学性能影响不大。

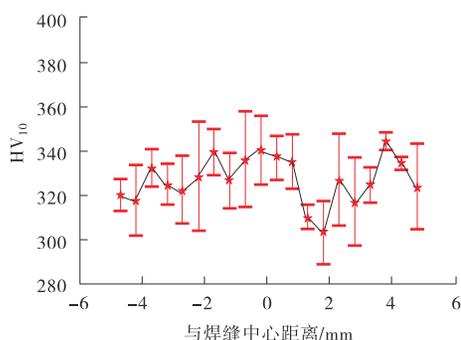


图5 不锈钢焊接接头硬度分布

## 3 结 论

(1) 采用Solar TYPE B型保护剂,可以获得外观成形良好的304奥氏体不锈钢GTAW焊缝。

(2) 熔合线附近的焊缝组织为联生结晶的奥氏体柱状晶,焊缝中心组织为细小均布的奥氏体枝晶,平均枝晶间距为 $8.9\ \mu\text{m}$ 。

(3) 焊缝背面表层金属中含有一定量的O元素,但氧化程度不大,说明保护剂的保护效果良好。

(4) 焊接接头热影响区的硬度较低,而焊缝区硬度较高,但总体硬度值波动不大。

### 参考文献:

- [1] 陈勇, 陆建华, 徐育焱, 等. 不同焊接工艺下304不锈钢薄壁管件纵缝微观组织及力学性能研究[J]. 热加工工艺, 2022, 51(11): 127-131.
- [2] CHEN Y, ZHOU F, ZHANG R, et al. Experimental study on seismic behavior of welded H-section stainless steel beam-columns[J]. Engineering Structures, 2022(259): 114105.
- [3] KOGA G Y, FERREIRA T, DE BRIBEAN GUERRA A P, et al. Air carbon arc gouging of austenitic stainless steels prior to arc welding - opportunities and risks[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2022(303): 117524.
- [4] 程小华, 马桥石. 核电站SC结构MAG单面焊双面成形焊接接头性能分析[J]. 焊接技术, 2021, 50(8): 29-33.
- [5] 王寅飞, 赵峰. 焊接保护剂在电站焊接中的应用[J]. 黑龙江科学, 2015, 6(2): 40-41.
- [6] 闫兴贵, 孙薇. 等离子/TIG焊缝背面保护关键技术的研究[J]. 金属加工: 热加工, 2016(18): 49-50.
- [7] 李辉. 常见焊缝背面保护方法焊接工艺性对比研究[J]. 湖南农机, 2014(4): 43-45.
- [8] 李辉, 张瑞华. 不锈钢保护剂的焊接性研究[J]. 电焊机, 2013, 43(3): 61-64.
- [9] 郑祥超. 不锈钢背面保护剂焊接性研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2012.
- [10] 尹燕, 郑祥超, 陈燕, 等. 背面保护剂对304不锈钢TIG焊缝外观及耐蚀性的影响[J]. 焊接技术, 2012, 41(8): 35-37.
- [11] 尹燕, 郑祥超, 陈燕, 等. 背面保护剂对304不锈钢焊接接头腐蚀性能的影响[J]. 焊管, 2012, 35(5): 19-22.
- [12] 樊鸿杰. 背面涂覆保护剂焊接奥氏体不锈钢炉管的研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2013.
- [13] 李亚军, 曾妍, 赵太源, 等. 油气输送用不锈钢管道的免充氩焊接工艺[J]. 焊管, 2019, 42(10): 38-42.
- [14] 李亚军, 赵太源, 肖莉. CO<sub>2</sub>压缩机管道用不锈钢的焊接工艺研究[J]. 现代制造工程, 2019(11): 90-93.
- [15] 丁超, 王璐, 赵冠鹏, 等. 背面免充氩保护剂焊接工艺研究[J]. 焊接技术, 2020, 49(3): 43-45.

作者简介: 强 伟 (1988—), 男, 博士, 讲师, 西安石油大学, 主要从事多热源协同焊接研究。

收稿日期: 2022-07-28

修改返回日期: 2022-12-09

编辑: 任永峰